

## 应用光学重点(个人整理版\_by ZSY)

这份试卷共分两部分：闭卷部分为填空题共计 50 分，28 个小题 50 个空。开卷部分包括三个计算题，两个画图题，每题 10 分，共计 50 分。

### 一：填空部分

#### 1：理解费马原理定义以及相关公式

定义：光程极值（光线由点 A 传到点 B，经过任意多次折射或反射，其光程为极值）。

$$\delta \int_A^B n \, ds = 0$$

#### 2：理解全反射的定义以及条件

全反射：又称全内反射，指光由光密（即光在此介质中的折射率大的）介质射到光疏（即光在此介质中折射率小的）介质的界面时，全部被反射回原介质内的现象。

条件：入射光由光密介质进入光疏介质；入射角必须大于临界角。

#### 3：理解马吕斯定律的定义以及意义

马吕斯定律指出，光线束在各向同性的均匀介质中传播时，始终保持着与波面的正交性，并且入射波面与出射波面对应点之间的光程均为定值。

#### 4：理解拉赫不变量以及阿贝不变量（PS：要知道它们的单位也许会有用）

拉赫不变量： $J = nuy = n'u'y'$ ；(在一对共轭平面内，物高  $y$ 、孔径角  $u$  和折射率  $n$  乘积是一个常数)，单位为  $\text{rad} \cdot \text{mm}$ 。

阿贝不变量（Q 或 C）：

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{r} = \frac{n}{s} - \frac{n'}{r} = c \text{ 或 } \frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}$$

其中  $n$ 、 $n'$  分别为物方空间和像方空间的折射率， $r$  为折射球面的曲率半径， $s$  和  $s'$  分别为入射光束顶点（物）、出射光束顶点（像）与球面顶点的距离， $c$  为阿贝不变量。由此关系式可知， $s$  与  $s'$  和角度无关，可推知在近（傍）轴条件下，入射同心光束经过折射后仍为同心光束，说明近（傍）轴条件下能成像，像的位置完全可由物的位置决定，近（傍）轴条件下所推得的结果，在像差理论中往往作为一个标准。

阿贝不变量说明近（傍）轴条件下能成像，像的位置完全可由物的位置决定。

#### 5：理解垂轴放大率、轴向放大率、角放大率

垂轴放大率： $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{nl'}{n'l}$ ，像高与物高之比。

轴向放大率;  $a = \frac{dl'}{dl} = \frac{nl'^2}{n'l^2} = \frac{n'}{n} \beta^2$  , 轴向倍率是指光轴上一对共轭点沿轴移动量之间的关系。dl'为像移, dl 为物移。

角放大率:  $\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{l}{l'} = \frac{n}{n'} * \frac{1}{\beta}$  , 共轭光线与光轴的夹角比值。

三种放大率之间的关系:  $a\gamma = \beta$

## 6: 理解焦点、主点、节点、主平面、光焦度

焦点: 指平行光线经透镜折射或曲面镜反射后的会聚点;

主平面: 垂轴放大率为 1 的一对共轭平面;

主点: 主平面与光轴的交点;

节点: 角放大率为 1 的共轭点;

光焦度: 光焦度等于像方光束会聚度与物方光束会聚度之差, 它表征光学系统偏折光线的的能力。光焦度常用字母  $\phi$  表示, 折射球面光焦度  $\phi = (n' - n) / r = n' / f' = -n / f$ , 其中  $n'$  为像方折射率,  $n$  为物方折射率,  $r$  为球面半径,  $f'$  为像焦距,  $f$  为物焦距。一般光焦度表示为像方焦距的倒数 (认为空气的折射率为 1)。

## 7: 掌握牛顿公式以及高斯公式

牛顿公式:  $x'x = ff'$ , ( $x'$  和  $x$  分别为像点和物点到其各自焦点的距离,  $f$  和  $f'$  分别为物方焦距和像方焦距)

高斯公式:  $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$  , ( $l$  为物点到物方主点距离,  $l'$  为像点到像方主点距

离, 且处于同一介质,  $f = f'$ )

## 8: 掌握透镜的概念和分类

透镜: 由两个折射面包围一种透明介质所形成的光学零件。

分类: 正透镜 (会聚): 光焦度为正; 负透镜 (发散): 光焦度为负;

按形状: 正透镜分为双凸、平凸和月凸三种形式;

负透镜分为双凹、平凹和月凹三种形式;

## 9: 掌握平面镜作用

光学系统中的平面镜多用于转折光路的方向, 由于它具有理想光学系统的性

质，对系统没有像差贡献，因此，在计算光路时常不作为一个面来计算。

#### 10: 掌握几种典型棱镜的概念以及作用

**反射棱镜：**利用光的反射改变光线方向的棱镜，当白光通过反射棱镜时，不会发生色散，所以又叫非色散棱镜。在棱镜的侧面上镀有金属薄膜，形成反射面。

**屋脊棱镜：**如果需要获得与物和像方向完全相反的像，而又不宜再增加反射棱镜时，可以用两个互相垂直的反射面取代棱镜中的一个反射面，且使两个反射面的交线在棱镜的光轴平面以内。这个互相垂直的反射面称为屋脊面，带有屋脊面的棱镜叫做屋脊棱镜。

**三面直角棱镜：**四面体，三个等腰直角三角形相互垂直，为反射面，而底面是一个等边三角形。三面直角棱镜的重要特性之一是从底面以任意方向入射于棱镜的光线，经三个反射面顺序反射以后，出射光线以与入射光线平行的方向射出，即出射光线相对于入射光线旋转了  $180^\circ$ 。当棱镜以角顶点为中心向任意方向移动，且入射光线方向确定后，出射光线仍平行于入射光线方向射出，随棱镜绕角顶转动的方向和角位移的不同，出射光线将发生不同的平移。

#### 11: 掌握几种光阑的定义以及作用

**光阑：**光具组件中光学元件的边缘、框架或特别设置的带孔屏障称为光阑（限制成像光束孔径角的光学元件）。

**孔径光阑：**对轴上物点光束的口径（立体角或者发光截面）限制得最多的光阑称为孔径光阑。（限制轴点发出的平面光束的孔径角）

**视场光阑：**在光学系统像平面或者其共轭面上放置光阑来限制视场。（安置在物平面或者像平面上限制成像范围的光阑称为视场光阑）

**渐晕光阑：**轴外光束被拦截的现象称为“渐晕”，产生渐晕的光阑称为渐晕光阑，主要用来提高轴外点成像质量，减小光学零件尺寸。

**消杂光光阑：**光学仪器中遮挡和吸收杂散光的元件。

#### 12: 掌握入瞳和出瞳定义以及作用

**入瞳：**限制光束大小的光孔  $A$  通过其前面的透镜成像到物空间去，则其像  $B$  决定了光学系统的物方孔径角。该限制轴上点光束孔径角的光孔像  $B$  称为入射光瞳，简称入瞳。

出瞳：光孔 A 通过其后面的透镜在像空间所成的像 C 决定了系统像方孔径角，称为出射光瞳，简称出瞳。

### 13：掌握相对孔径的定义

相对孔径：入射光瞳直径 D 和整个系统焦距 f'之比称为该系统的相对孔径，即： $D/f'=1/K$ , K 称为光瞳数或焦距数。

数值孔径：物方孔径角正弦和物空间介质折射率的乘积称为数值孔径，以 NA 表示，即  $NA=n_1\sin U_1$ 。

### 14：理解远心光路

引出：在某些光学计量仪器的物镜中，常常需要在物镜的像方焦平面处加一个光阑作为系统的孔径光阑，以消除由于物平面位置不准确所引起的测量误差。

物方远心光路：孔径光阑位于物镜的像方焦面，入瞳位于无穷远，孔径光阑即出瞳。轴外点主光线平行于光轴，这样的光路被称作“物方远心光路”。交于物方无穷远的主光线通过物镜交于出瞳中心（即孔径光阑中心），主光线在物方的交点位置始终在无穷远，不随物体移动发生改变。

像方远心光路：孔径光阑位于物镜物方焦面，出射光束的主光线平行于光轴，出瞳位于无限远，这样的光路称为“像方远心光路”。

### 15：掌握光通量、光强度、光照度、光亮度的定义及其单位

辐通量 P：以辐射的形式发散、传播、和接收的功率，单位为瓦特。

光通量  $\phi$ ：辐射能中由  $V(\lambda)$  折算到能引起人眼刺激的那一部分辐通量称为光通量。单位为 lm(流明)。1lm=1cd\*sr(发光强度为 1cd 的点光源在单位立体角 1sr 内发出的光通量为 1lm)

光强度 I：某一方向单位立体角内所辐射的光通量值（表征辐射体在空间某一方向上的发光状况）。单位为 cd(坎德拉)。（一个频率为  $540 \times 10^{12}$ Hz 的单色辐射光源，若在给定方向上的辐射强度为 1/683W/sr,则该光源在该方向的发光强度为 1cd）

光亮度 L：微面积 dS 在 i 方向的发光强度与此微面积在垂直于该方向的平面上的投影面积  $dS \cos i$  之比，即  $L_i = \frac{I_i}{dS \cos i}$ ，或把  $I_i = d\phi_i / d\omega$  代入上式，得

$$L_i = \frac{d\phi_i}{\cos i * dS * d\omega} \quad \text{，单位为 cd/m}^2 \text{(坎德拉每平方米)}$$

1m<sup>2</sup> 的均匀发光表面在垂直方向（i=0）的发光强度为 1cd 时，该面的光亮

度为  $1\text{cd}/\text{m}^2$ 。

#### 16: 掌握色度学中三原色以及三刺激值

三原色：只要三种颜色中的每一种颜色不能用其他两种颜色混合产生出来，就可以用来匹配出所有的颜色。这样的三种颜色称为“三原色”。

三刺激值：匹配某种颜色所需的三原色的量称为颜色的三刺激值。

#### 17: 掌握明度、色调、饱和度的定义

明度：颜色明亮的程度。对于光源色，明度与发光强度有关；对于物体色，则取决于物体的反射比和透射比。

色调：借以区分不同颜色的特征。光源色的色调取决于发光体辐射能的光谱组成，物体色取决于对光的选择吸收特性及照明光的光谱组成。

饱和度：颜色接近光谱色的程度。

#### 18: 掌握几种像差的意义以及分类

像差：实际光学系统所形成的像和近轴区所成的像的差即为像差。

光学系统对单色光成像时产生单色像差，分为五类：球面像差（球差）、彗形像差（彗差）、像散差（像散）、像面弯曲（场曲）和畸变。对白光成像时，除了上述五种单色像差，还产生轴向色差和垂轴色差（倍率色差）。

球差：由轴上点发出的同心光，经光学系统各个折射面折射后，不同孔径角  $U$  的光线交光轴于不同点，相对于理想像点的位置有不同的偏离，这就是球面像差，简称球差。

彗差：光轴外的某一物点向镜头发出一束平行光线，经光学系统后，在象平面上会形成不对称的弥散光斑，这种弥散光斑的形状呈彗星形，即由中心到边缘拖着一个由粗到细的尾巴，其首端明亮、清晰，尾端宽大、暗淡、模糊。这种轴外光束引起的像差称为彗差。

像散：由于发光物点不在光学系统的光轴上，它所发出的光束与光轴有一倾斜角。该光束经透镜折射后，其子午细光束与弧矢细光束的汇聚点不在一个点上。即光束不能聚焦于一点，成像不清晰，故产生像散。

场曲：场曲又称“像场弯曲”。当透镜存在场曲时，整个光束的交点不与理想像点重合，虽然在每个特定点都能得到清晰的像点，但整个像平面则是一个曲面。在一个平坦的影像平面上，影像的清晰度从中央向外发生变化，聚焦形成弧型，就叫场曲。

畸变：畸变是由于垂轴放大率在整个视场范围内不能保持常数而引起的。当主光线与高斯像面的交点高度  $y$  与相应物点的理想成像高度  $y'$  不等时，使像发生变形，与原来物体不

相似。

### 19: 理解波像差

产生原因：波像差产生的原因是实际光学系统中存在像差，实际波面和理想波面就有了偏差。

定义：实际波面和理想波面之间的光程差。与像方孔径角之间有关，当几何像差越大时波像差也越大。

### 20: 掌握眼睛的分辨率的概念

定义：眼睛刚能分清的两物点在视网膜上所成的像之间的距离称为眼睛的分辨率。

视角：物体对人眼的张角。

视角分辨率：通常将人眼能够分辨开的两物点之间的视角称为视角分辨率。

### 21: 掌握非球面和圆锥面相关方程

旋转对称非球面： $r^2 = 2r_0z - (1 - e^2)z^2 + \alpha z^3 + \beta z^4 + \gamma z^5 + \dots$  ( $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ )

二次曲面

$$r^2 = 2R_0z - (1 - e^2)z^2$$

- + 这是讨论光学问题常用的、最方便的形式之一。
- + 无论是哪种二次曲线，其坐标原点都在曲线顶点；
- +  $R_0$ 是曲线顶点的曲率半径，离心率 $e$ 决定了曲线的形状；
- + 包含了扁球面----即绕椭圆的短轴旋转而成的二次曲面----在非球面光学中经常要用到。
- + 形状参数 $e$ 与曲线的对应关系：
  - $e^2 < 0$ , 扁圆
  - $e^2 = 0$ , 圆
  - $0 < e^2 < 1$ , 椭圆
  - $e^2 = 1$ , 抛物线
  - $e^2 > 1$ , 双曲线

### 22: 掌握瑞利判据

瑞利判据 (Rayleigh Criterion)指在成像光学系统中，分辨本领是衡量分开相邻两个物点的像的能力。由于衍射，系统所成的像不再是理想的几何点像，而是有一定大小的光斑(爱里斑),当两个物点过于靠近，其像斑重叠在一起，就可能分辨不出是两个物点的像，即光学

系统中存在着一个分辨极限，这个分辨极限通常采用瑞利提出的判据：当一个爱里斑的中心与另一个爱里斑的第一级暗环重合时，刚好能分辨出是两个像。

### 23: 掌握透射照明的方式

透射式照明法分中心照明和斜射照明两种形式：

(1) 中心照明：这是最常用的透射式照明法，其特点是照明光束的中轴与显微镜的光轴同一条直线上。它又分为“临界照明”和“柯勒照明”两种。

A. 临界照明 (Critical illumination) :这是普通的照明法。这种照明的特点是光源经聚光镜后成像在被检物体上，光束狭而强，这是它的优点。但是光源的灯丝像与被检物体的平面重合，这样就造成被检物体的照明呈现出不均匀性，在有灯丝的部分则明亮；无灯丝的部分则暗淡，不仅影响成像的质量，更不适合显微照相，这是临界照明的主要缺陷。其补救的方法是在光源的前方放置乳白和吸热滤色片，使照明变得较为均匀和避免光源的长时间的照射而损伤被检物体。

B. 柯勒照明：柯勒是十九世纪末蔡司厂的工程师，为了纪念他在光学领域的突出贡献，后人把他发明的二次成像叫做柯勒照明。柯勒照明克服了临界照明的缺点，是研究用显微镜中的理想照明法。这种照明法不仅观察效果佳，而且是成功地进行显微照相所必须的一种照明法。光源的灯丝经聚光镜及可变视场光阑后，灯丝像第一次落在聚光镜孔径的平面处，聚光镜又将该处的后焦点平面处形成第二次的灯丝像。这样在被检物体的平面处没有灯丝像的形成，不影响观察。此外照明变得均匀。观察时，可改变聚光镜孔径光阑的大小，使光源充满不同物镜的入射光瞳，而使聚光镜的数值孔径与物镜的数值孔径匹配。同时聚光镜又将视场光阑成像在被检物体的平面处，改变视场光阑的大小可控制照明范围。此外，这种照明的热焦点不在被检物体的平面处，即使长时间的照明，也不致损伤被检物体。2004年蔡司公司又在传统柯勒式照明基础上推出了带有反光碗的全系统复消色差照明技术，消除照明色差，增强光的还原性，进而提高分辨率，同时照明均匀而光效高。

(2) 斜射照明：这种照明光束的中轴与显微镜的光轴不在一直线上，而是与光轴形成一定的角度斜照在物体上，因此成斜射照明。相衬显微术和暗视野显微术就是斜射照明。

### 24: 掌握光纤束的数值孔径(p551)

均匀光纤的数值孔径是指子午光线在光纤内全反射并形成导波时，在光纤端面上入射光线的入射角变化范围的大小。它是衡量一根光纤当光线在其端面射入时，所能接收到的光能大小的一个重要参数。数值孔径反映了光纤束集光能力，数值越大，集光能力就越强，进入光学纤维的光通量就越高。

$$NA = n_0 \sin \theta_i, \text{ 式中, } n_0 \text{ 为空气的折射率}$$

### 25: 掌握点列图的定义(p662)

设由一点发出的许多光线经过光学系统以后，由于存在像差，其与像面的交点不再是同一点，而是形成了散开的图形，称为点列图。用点列图中这些点的密集程度可以衡量系统的质量优劣。

## 二：计算题

1：关于近视眼以及矫正问题

2：关于望远镜系统的计算

3：关于辐射体照明问题

### 三：画图题

#### 1：已知物点求像点

#### 2：棱镜的成像反向以及光路走向问题